

ПРИНЦИПЫ СЪЕМКИ И АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЭРОСЪЕМОЧНОЙ СИСТЕМЫ PAS190MP

Ю.Г. Райзман (Phase One Industrial, Дания)

В 1980 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист», а в 1985 г. — аспирантуру ЦНИИГАиК по специальности «фотограмметрия». После окончания аспирантуры работал в Ташкентском аэрогеодезическом предприятии ГУГК СССР, с 1992 г. — в Геодезической службе Израиля, с 2008 г. — в компании VisionMap Ltd. (Израиль). С 2017 г. по настоящее время — научный консультант компании Phase One Industrial и директор компании GeoCloud Ltd.

Выпускаемые компанией Phase One Industrial 100-мегапиксельные аэросъемочные камеры среднего формата заслужили всемирное признание за их производительность и высокое качество изображений.

100-мегапиксельная камера имеет матрицу с размером пикселя 4,6 мкм, высокую скорость съемки — один кадр каждые 0,6 секунды и время экспозиции до 1/2500 секунды, а также набор метрических объективов с разными фокусными расстояниями — 50, 70, 90, 110 и 150 мм. Эти возможности позволяют эффективно использовать камеру во многих областях: для аэросъемки небольших территорий городов и коридоров (совместно с воздушным лазерным сканированием), в картографических проектах, получения перспективных снимков для трехмерного моделирования городов, а также мониторинга и инспекции строящихся сооружений и объектов инфраструктуры.

За счет небольших размеров (10x10x20 см, включая объектив) и незначительного веса (менее 2 кг) камера легко устанавливается на гиросtabilизирующие платформы для съемки

с небольших пилотируемых самолетов и беспилотных летательных аппаратов среднего размера, что значительно снижает расходы и повышает эффективность аэросъемочных работ при выполнении различных картографических проектов, обеспечивая при этом высокое качество конечной продукции.

Камеры среднего формата Phase One, обладая всеми вышеизложенными преимуществами и невысокой, относительно широкоформатных камер, стоимостью, нашли широкое применение в картографировании, в первую очередь, при создании и обновлении крупномасштабных

карт и планов населенных пунктов.

▼ Новое поколение аэросъемочных систем

В настоящее время компания Phase One Industrial разработала новую метрическую камеру Phase One iXU-RS1900 и предлагает на ее базе аэросъемочные системы PAS190MP и PAS190MP 4-band. Камера Phase One iXU-RS1900 имеет два объектива с фокусным расстоянием 90 мм и 100-мегапиксельной матрицей изображения для получения снимков в RGB (рис. 1). В основе камеры лежит объединение двух матриц изображений и двух объективов. Эта оптическая интеграция вместе со спе-



Рис. 1
Камера Phase One iXU-RS1900

Основные параметры аэросъемочных систем PAS190MP и PAS190MP 4-band

Таблица 1

Наименование параметров	Значения параметров	
	PAS190MP	PAS190MP 4-band
<i>Общие</i>		
Тип объектива	Rodenstock	
Количество объективов	2	3
Фокусное расстояние, мм	90	90 и 50
Поперечный и продольный угол поля зрения, °	45,7/33,0	
Действующее отверстие объектива (апертура)	f/5,6	
Тип затвора	Центральный (встроен в объектив)	
Выдержка, с	От 1/2000 до 1/125	
Скорость съемки	1 кадр каждые 0,6 секунды	
Светочувствительность, ISO	50–6400	
Динамический диапазон, дБ	>84	
Спектральные характеристики изображения	RGB	RGB, NIR NIR 1 от 720 нм NIR 2 от 830 нм
<i>Матрица изображения</i>		
Количество матриц КМОП	2	3
Размер пикселя, мкм	4,6	
Размер матрицы, пиксель	11 608x8708	
Аналого-цифровое преобразование, бит	14	
<i>Кадр изображения</i>		
Геометрия кадра	Центральная проекция	
Размер изображения в поперечном и продольном направлениях, пиксель	16 470x11 570	
Общий размер изображения, Мпиксель	190	
Цвет изображения	RGB	RGB, NIR, CIR,4-band
Коэффициент паншарпенга	Нет	1:1,8
Типичный размер снимка, Мбайт	570	760
Формат изображения	PhaseOne RAW, Undistorted TIFF, JPEG	
<i>Интерфейс и дополнительное оборудование</i>		
iX контролер	До 6 отдельных портов USB3	
Наличие контрольного монитора для навигации	Да	
Наличие монитора оператора для управления камерой	Да	
Тип гиростабилизирующей платформы	SOMAG DSM400	
ИНС/ГНСС	Applanix/NovAtel	
Скорость синхронизации событий, мкс	100	
Электропитание, В	12–30	
Максимальная потребляемая мощность, Вт	20	30
Размер системы, мм	430x430x440	
Масса системы, кг	31	32,5
Температура, °С	От –10 до +40	
Влажность, %	15–80	



Рис. 2
Аэросъемочная система PAS190MP 4-band

циальным программным обеспечением позволяет генерировать одиночное изображение центральной проекции размером 190 Мпикселей из двух вертикальных снимков по 100 Мпикселей.

Аэросъемочная система PAS190MP включает только камеру Phase One iXU-RS1900, а PAS190MP 4-band (рис. 2) дополнительно оснащена камерой с ахроматическим объективом с фокусным расстоянием 50 мм и 100-мегапиксельной матрицей изображения для съемки в ближнем инфракрасном диапазоне и получения четырехполосного изображения (RGB, NIR) и CIR-снимков.

Основные параметры этих аэросъемочных систем приведены в табл. 1.

Аэросъемочные системы PAS190MP и PAS190MP 4-band могут быть дополнены программным обеспечением для управления полетом, вспомогательным периферийным оборудованием или поставлены как OEM-компоненты сторонним компаниям для дальнейшей интеграции.

▼ **Принцип работы камеры Phase One iXU-RS1900**

Камера Phase One iXU-RS1900 имеет два объектива с фокусным расстоянием 90 мм, каждый из которых имеет матрицу изображения КМОП с размером пикселей 4,6 мкм. Объективы установлены симметрично оси маршрута съемки, а их оптические оси ориентированы вертикально вниз, что обеспечивает получение изображений в надир с одинаковым разрешением (размером пикселя на земле) (рис. 3). Геометрические центры матриц изображения каждого объектива не совпадают с оптической осью объектива и смещены в противоположные стороны (наружу) относительно оси маршрута съемки (рис. 3, внизу).

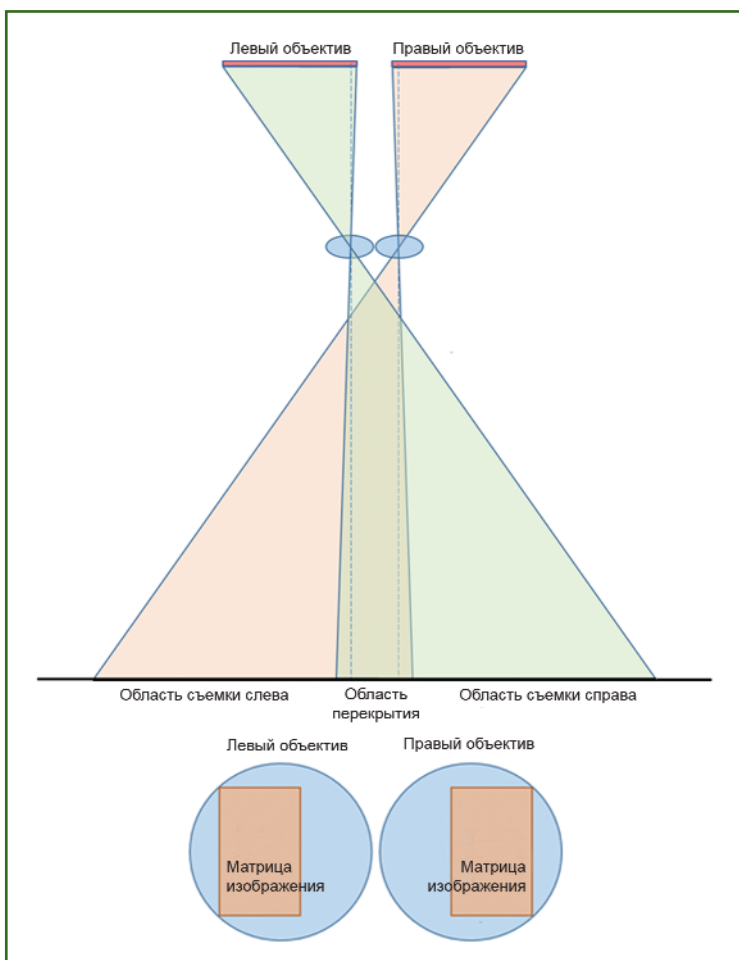


Рис. 3
Схема работы камеры Phase One iXU-RS190

Зависимость величины смаза изображения и продольного перекрытия от максимально возможной скорости самолета и различном наземном разрешении

Таблица 2

Наименование параметров	Значения параметров			
Размер пикселя на земле, см	2,5	5,0	7,5	10,0
Скорость воздушного судна относительно земли, км/ч	176	352	537	713
Смаз изображения, пиксель	0,98	0,98	0,99	0,98
Продольное перекрытие, %	90	87	86	86

Зависимость величины смаза изображения и продольного перекрытия при обычной («нормальной») скорости самолета и различном наземном разрешении

Таблица 3

Наименование параметров	Значения параметров			
Размер пикселя на земле, см	2,5	5,0	7,5	10,0
Скорость воздушного судна относительно земли, км/ч	167	204	241	278
Смаз изображения, пиксель	0,93	0,57	0,45	0,39
Продольное перекрытие, %	90	92	94	96

Каждый из объективов снимает противоположную сторону от оси маршрута съемки, т. е. правый объектив снимает левую сторону относительно оси маршрута, а левый — правую сторону. Область перекрытия между двумя снимками служит для их объединения в один снимок.

Изображение, получаемое каждым объективом, в поперечном направлении имеет размер 8708 пикселей, а в продольном — 11 608 пикселей. Объединенное изображение образует кадр большого формата с размером в поперечном направлении 16 470 пикселей, а в продольном — 11 570 пикселей, обеспечивая общий размер изображения 190 Мпикселей. Общее поле зрения оптической системы составляет в поперечном направлении 45,7°, а в продольном — 33°.

Такая оптическая интеграция позволяет:

- увеличить поперечный угол поля зрения оптической системы во время полета, что приводит к более высокой производительности аэросъемочных работ;

- достичь более высокой стереоскопической точности за счет увеличения продольного угла поля зрения и большего значения отношения базиса к высоте (В/Н).

Окончательное изображение большого формата представляет собой бесшовное неискаженное изображение центральной проекции в формате TIFF или JPEG (рис. 4).

Качество изображения при аэросъемке определяется, в частности, наличием смаза изображения, который возникает из-за перемещения объекта съемки и/или самой системы во время экспозиции.

Камера Phase One iXU-RS1900 оснащена объективами с высокочувствительными матрицами КМОП и высокоскоростными центральными затворами, которые обеспечивают очень короткое время экспозиции — до 1/2000 секунд.

Традиционно смаз из-за движения самолета уменьшается за счет компенсации продольного сдвига изображения. Так, например, для ПЗС-матриц обычно используется электронная технология TDI.

Объективом, оснащенным матрицей КМОП, для получения при аэросъемке высококачественных изображений, необходимых при картографировании, компенсация продольного сдвига изображения не требуется, благодаря гораздо более высокой чувствительности этого типа матриц, более короткому времени экспозиции и передовым технологиям затвора, разработанным компанией Phase One Industrial.

В табл. 2 приведена максимально возможная скорость самолета для обеспечения смаза изображения не более 1 пикселя при времени экспозиции 1/2000 секунд.

Данные, приведенные в табл. 3, показывают, что при аэросъемке с обычной («нормальной») скоростью самолета при увеличении наземного разрешения смаз изображения уменьшается.

Таким образом, благодаря новой матрице КМОП и короткому времени экспозиции, высококачественные изображения при аэросъемке могут быть получены без технологии компенсации продольного сдвига изображения.

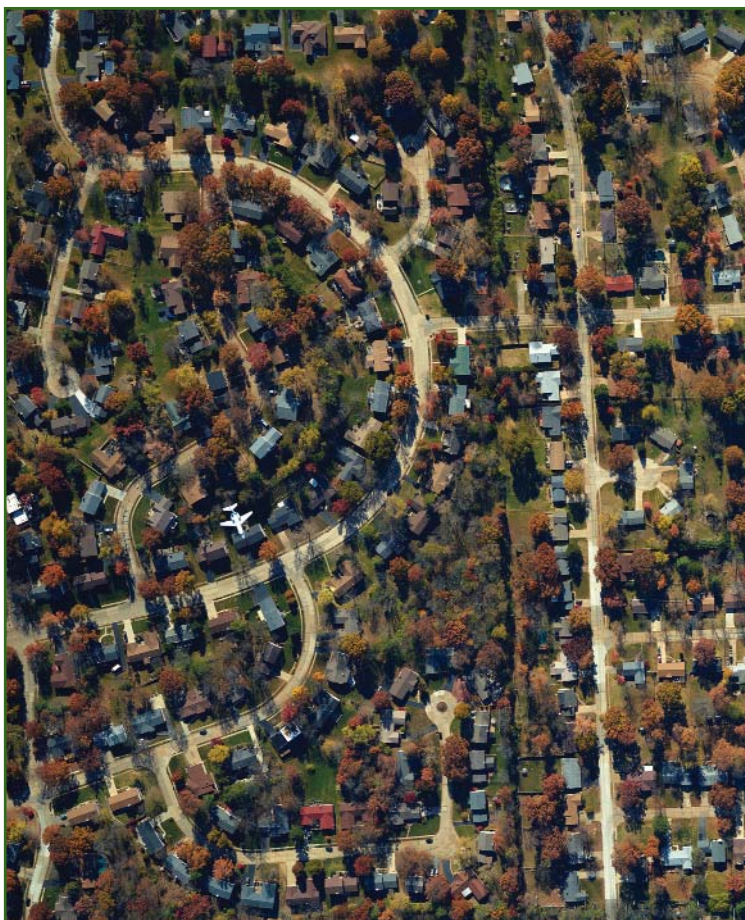


Рис. 4

Пример изображения большого формата центральной проекции, полученное аэросъемочной системой PAS190MP

Большое продольное перекрытие при аэросъемке камерой Phase One iXU-RS1900 обеспечивает получение высококачественных трехмерных моделей и плотной цифровой модели поверхности (DSM).

Данные, приведенные в табл. 2 и 3, показывают, что, благодаря высокой скорости съемки 0,6 секунды, камера Phase One iXU-RS1900 обеспечивает большое продольное перекрытие даже при большой скорости самолета.

▼ **Анализ эффективности применения аэросъемочной системы PAS190MP**

Эффективность аэросъемочных работ может быть выражена следующими показателями:

- площадью территории, покрытой аэросъемкой за один час полета;
- расстоянием между маршрутами аэросъемки;
- временем, необходимым для съемки территории, или количеством маршрутов.

В табл. 4 приведены значения этих показателей, которые

Показатели эффективности аэросъемочных работ с помощью систем PAS190MP и PAS100MP при наземном разрешении 5 см, поперечном перекрытии 30% и скорости самолета 250 км/ч

Таблица 4

Наименование параметров	Значения параметров					
	PAS190MP	PAS100MP				
Фокусное расстояние, мм	90	50	70	90	110	150
Разрешение кадра, Мпиксель	190	100	100	100	100	100
Поперечный угол поля зрения, °	45,7	56,2	41,8	33,0	27,3	20,2
Продольный угол поля зрения, °	33,0	43,7	31,9	25,1	20,6	15,2
Высота полета, м	978	543	761	978	1,196	1,630
Максимальное продольное перекрытие, %	90	87	87	87	87	87
Угол ортофото (2α), °	33	41	30	23	19	14
Уклон зданий, %	30	37	27	21	17	12
Размер кадра перпендикулярно оси маршрута (ширина кадра), м	827	580	580	580	580	580
Размер кадра вдоль оси маршрута (высота кадра), м	580	435	435	435	435	435
Производительность одномаршрутной съемки, км ² в час	291	204	204	204	204	204
Производительность блочной съемки, км ² в час	204	143	143	143	143	143
Расстояние между маршрутами, м	579	406	406	406	406	406

достигаются при аэросъемке системой PAS190MP и системой PAS100MP с камерой Phase One iXU-RS1000, оснащенной объективами с различными фокусными расстояниями. Они показывают высокую эффективность при выполнении аэросъемочных работ с помощью системы PAS190MP.

Объективным критерием эффективности аэрофотосъемочных работ, не зависящим от скорости самолета и формы полигона съемки, является расстояние между маршрутами.

На рис. 5 приведена диаграмма, показывающая расстояния между маршрутами для систем PAS190MP и PAS100MP при постоянном поперечном перекрытии в 30%. По представленным данным видно, что использование системы PAS190MP позволяет повысить производительность аэрофотосъемки на 43%.

На рис. 6 приведено общее время полета в минутах (включая развороты), необходимое для аэросъемки территории размером 5x5 км с разрешением изображения на земле 5 см, что обычно соответствует площади центральной части типичного европейского города. При использовании системы PAS190MP для аэросъемки территории площадью 25 км² (включая развороты) требуется 34 минуты.

Приведенные результаты показывают, что аэросъемочная система PAS190MP, оснащенная метрической камерой Phase One iXU-RS1900, при относительно низкой стоимости обеспечивает высокую производительность, благодаря следующим характеристикам:

- небольшому размеру пикселя матрицы объектива — 4,6 мкм;
- большому размеру кадра в 190 Мпикселей;
- высокой скорости съемки — 1 снимок в 0,6 секунды;



Рис. 5

Расстояния между маршрутами при аэросъемке системами PAS190MP и PAS100MP



Рис. 6

Затраты времени для аэросъемки территории площадью 25 км² системами PAS190MP и PAS100MP

— времени экспозиции до 1/2000 секунды;

— объективу с фокусным расстоянием 90 мм.

Следует отметить, что аэросъемочная система PAS190MP 4-band, обладая теми же преимуществами, что и аэросъемочная система PAS100MP, дополнительно позволяет получать четырехполосные изображения (RGB, NIR) и CIR-снимки.

Небольшой размер аэросъемочной системы, малый вес и низкое энергопотребление делают ее совместимой практиче-

ски со всеми типами легких летательных аппаратов, что сокращает расходы при выполнении картографических проектов.

Новая система PAS190MP может составить достойную конкуренцию широкоформатным камерам во всех областях аэрофотосъемки, а также при дистанционном мониторинге территорий и строящихся объектов различного назначения, при обеспечении точного земледелаия, при оценке возможных разрушений в результате стихийных бедствий и др.